

ANALISIS MODULUS ELASTISITAS LENTUR TERHADAP LOSS FACTOR BETON POLIMER

Mohd Isneini¹

Abstract

Polimer concrete has different behaviour and different mechanic characteristic than others because it depends on material polimer that are used, so that it caused to be researched and be studied its behaviour and dynamic characteristic. This polimer concrete was made of prepacked system, consisted of unsaturated polyester (UP) added with styrene monomer (SM) as binder matrix, cobalt naphthenate solution (CoNp) as a promotor and methyl ethyl ketone peroxide (MEKPO) as an initiator, and coarse aggregate as inclusion. In this composition, variation of polymer concrete based on percentage of polimer and fly ash as a filler, and any other materials were kepted in constant. The object of this research, to find out values of damping (loss factor), dynamic parameter, and then compare it with flexural modulus elasticity, so that series of laboratory tests were carried out. Test results showed, values of damping (loss factor) 1,669 – 3,017%. Results also showed that much and much more content of polymer caused loss factor (η), damping coeffisien (c) and damping ratio (ξ) decrease, however it showed that fly ash affected to increase value of dynamic parameter. When analising damping factor of polimer concrete, it's suggested to use flexural modulus elasticity because both of flexural modulus and loss factor (modal test) showed the same flexural behaviour.

Key words : prepacked system, dynamic parameter, damping factor

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung

1. PENDAHULUAN

Beton polimer memiliki sifat serta perilaku yang berbeda satu dengan yang lainnya karena sangat bergantung terhadap bahan polimer yang digunakan, hal ini mendorong dilakukannya banyak penelitian untuk mempelajari sifat dan perilaku beton polimer. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan untuk mengetahui formula yang akan digunakan sebagai desain campuran, dilakukan dengan memberikan variasi terhadap persentase polimer dan *filler* serta membuat bahan penyusun lainnya tetap. Lalu dilihat pengaruh perubahan persentase polimer untuk mengetahui besarnya redaman (*loss factor*) benda uji beton polimer.

Bahan beton polimer terdiri atas bahan inklusi dan matriks. Bahan inklusi terdiri atas agregat kasar, agregat halus, dan serbuk pengisi sebagai penguat. Bahan matriks terdiri atas *polymer blend*, inisiator, dan promotor. Sebagai fraksi butiran halus digunakan abu terbang. Butiran pengisi berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanis, menghambat retak dan dislokasi, menghemat matriks serta meningkatkan ketahanan terhadap perubahan suhu ekstrim. Inklusi berfungsi untuk memperkuat matriks dengan cara mengurangi deformasi elastik.

Bahan pengikat menggunakan polimer *polyester resin* golongan *polyethylene terephthalate* yang berbentuk *UP* yaitu *recycled polyethylene terephthalate resin* (hasil daur ulang plastic). *UP*, merupakan bahan campuran utama matriks beton polimer, yang dicampur dengan bahan pengencer yaitu *styrene monomer* dan *MEKPO (Methyl Ethyl Keton Peroxide)* sebagai katalisator/inisiatornya. *UP* resin secara umum digunakan untuk memformulasikan beton polimer. *Styrene Monomer (SM)* digunakan sebagai pengencer untuk mengurangi kekentalan *UP Resin* dan digunakan *cobalt naphthenate (CoNP)* sebanyak 1% sebagai promotor. Abu terbang, berasal dari hasil pembakaran batubara di PLTU Suralaya. Abu terbang memiliki diameter sekitar $100\mu\text{m}$. Agregat yang digunakan ini berasal dari Banjaran Jawa Barat.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui sifat dinamik beton polimer. Parameter mekanik modulus elastisitas lentur sedangkan parameter dinamik yaitu redaman (η), rasio redaman (ξ) dan koefisien redaman (c), serta menganalisa nilai redaman eksperimental yang dibandingkan terhadap analitis yang menggunakan modulus elastisitas lentur.

2. METODOLOGI

Penelitian dikerjakan melalui kajian eksperimen, dilakukan dengan serangkaian percobaan di laboratorium untuk mendapatkan sifat-sifat beton polimer. Pelaksanaan eksperimen meliputi persiapan bahan, pembuatan benda uji serta melakukan pengujian kemudian dibandingkan dengan perhitungan analitis.

2.1 Teorema Pendukung dalam Eksperimental Dinamik

2.1 Fungsi Respon Frekuensi (FRF)

FRF merupakan respon domain frekuensi dari suatu titik pengukuran dibagi dengan gaya dalam domain frekuensi untuk suatu rentang pengukuran yang dibutuhkan. Persamaan 1 menunjukkan fungsi respon frekuensi untuk titik pengukuran p karena gaya eksitasi pada titik q . FRF merupakan fleksibilitas dinamik dari suatu struktur. Seperti yang diketahui, di dalam sistem linier selalu ada hubungan linier langsung antara masukan dan keluaran. Fungsi masukan bisa berupa gaya eksitasi harmonik dan keluarannya berupa respon

percepatan, respon kecepatan dan respon perpindahan. Fungsi respon frekuensi didefinisikan sebagai fungsi transfer perpindahan bila bentuk keluarnya berupa respon perpindahan.

$$FRF_{pq}(\Omega\Omega) = \left\{ \frac{X_p}{F_q(t)} \right\} = \frac{FFT_p}{FFT_q} \dots\dots\dots(1)$$

2.2 Metode Petik Puncak (*Peak Picking*)

Metode ini digunakan untuk identifikasi parameter fisik yang dilakukan dengan menentukan frekuensi natural, rasio redaman dan mode dari suatu struktur berdasarkan data FRF dari hasil pengukuran (contoh hasil pengolahan bisa dilihat pada lampiran). Fungsi respon frekuensi yang diperoleh, dipelajari hanya pada daerah puncak disekitar resonansi.

$$FRF = \frac{X}{F_O} = \left[\frac{k - m\Omega^2}{(k - m\Omega^2)^2 + (c\Omega)^2} - i \frac{c\Omega}{(k - m\Omega^2)^2 + (c\Omega)^2} \right] \dots\dots\dots(2)$$

atau

$$FRF = \frac{X}{F_O} = \left[\frac{\omega^2 - \Omega^2}{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + (2\xi\omega\Omega)^2} + i \frac{-2\xi\omega\Omega}{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + (2\xi\omega\Omega)^2} \right] \dots\dots\dots(3)$$

Amplitudo absolut R dan fasa θ adalah:

$$R = \sqrt{X_{re}^2 + X_{im}^2} \dots\dots(4) \text{ dan } \theta = \tan^{-1} \left[\frac{X_{im}}{X_{re}} \right] \dots\dots\dots(5)$$

Untuk respon kecepatan bagian riilnya akan bernilai maksimum dan bagian imajiner bernilai minimum pada frekuensi eksitasi sama dengan frekuensi naturalnya. Sehingga dapat dikatakan frekuensi dimana bagian imajiner dari respon perpindahan adalah maksimum disebut frekuensi resonansi ω_r . Untuk sistem yang mempunyai redaman yang kecil, nilai frekuensi natural struktur ω_n tidak akan jauh berbeda dengan nilai ω_r sehingga dapat dianggap $\omega_r = \omega_n$.

2.3 Redaman dan Menentukan mode getar

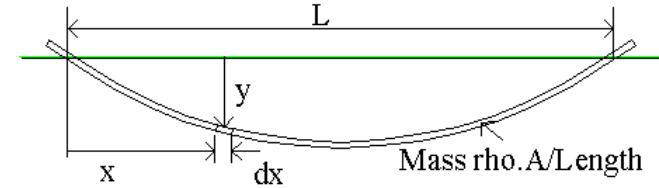
Secara sederhana redaman suatu struktur dapat diperoleh dengan menggunakan FRF dari hasil pengukuran. Apabila respon maksimum disebut α , maka frekuensi pada saat nilai responnya bernilai $\alpha/(\sqrt{2})$ adalah ω_a dan ω_b yang berada pada kedua sisi resonansi. Nilai redaman dan nilai rasio redamannya dapat dihitung dari:

$$\eta = \frac{2c}{c_c} = \frac{\omega_a - \omega_b}{\omega_r} \dots\dots\dots(6) \text{ dan } \xi = \frac{1}{2}\eta \dots\dots\dots(7)$$

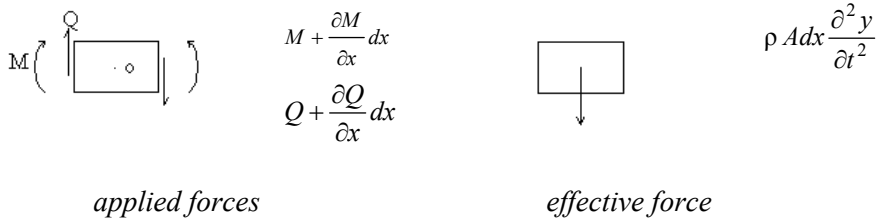
dengan c dan c_c berturut-turut adalah nilai redaman dan redaman kritis struktur.

2.2 Getaran Transversal Balok

Dengan memperhatikan momen dan gaya yang bekerja pada elemen balok pada Gambar 1. yang mempunyai luas penampang A , rigiditas lentur EI , dan kepadatan material ρ [1].



untuk elemen



applied forces

effective force

Gambar 1 Getaran transversal pada balok

persamaan umum untuk *Vibrasi transversal uniform beam*
$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\rho A}{EI} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0.$$

Kemudian defleksi di setiap titik pada balok bervariasi secara harmonik terhadap waktu dapat dituliskan: $y = X(B_1 \sin \omega t + B_2 \cos \omega t)$ (8)

dimana X adalah fungsi x yang didefinisikan sebagai bentuk mode normal vibrasi dari balok sedangkan Solusi umum persamaan balok adalah:

$$X = C_1 \cos \lambda x + C_2 \sin \lambda x + C_3 \cosh \lambda x + C_4 \sinh \lambda x$$

.....(9)

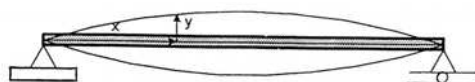
Konstanta C_1, C_2, C_3, C_4 diturunkan dari kondisi batas. memberikan frekuensi-frekuensi alami pada $\lambda = 0, \pi/l, 2\pi/l, 3\pi/l, \dots$ sehingga

$$\omega = 0, \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{A\rho}}, \left(\frac{2\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{A\rho}}, \left(\frac{3\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{A\rho}}, \dots (\text{rad/s}). \dots \dots \dots (10)$$

Frekuensi alami pertama adalah $\omega_1 = (\pi/l)^2 \cdot (EI/\rho A)^{1/2}$ rad/s, dan ragam getarnya adalah $X = C_2 \cdot \sin(\pi x/l)$. Sedang untuk frekuensi alami kedua $\omega_2 = (2\pi/l)^2 \cdot (EI/\rho A)^{1/2}$ rad/s dan ragam getar keduanya adalah $X = C_2 \cdot \sin(2\pi x/l)$ demikian seterusnya. Ragam getar dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4.

Ragam getar pertama setengah gelombang:

$$y = C_2 \sin \pi \frac{x}{l} (B_1 \sin \omega_1 t + B_2 \cos \omega_1 t); \quad \omega_1 = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad \text{rad/s}$$



Gambar 2 Ragam getar pertama

Ragam getar kedua, satu gelombang:

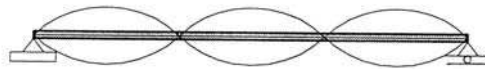
$$y = C_2 \sin 2\pi \frac{x}{l} (B_1 \sin \omega_2 t + B_2 \cos \omega_2 t); \quad \omega_2 = \left(\frac{2\pi}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad \text{rad/s}$$



Gambar 3 Ragam getar kedua

Ragam getar ketiga, satu setengah gelombang:

$$y = C_2 \sin 3\pi \frac{x}{l} (B_1 \sin \omega_3 t + B_2 \cos \omega_3 t); \quad \omega_3 = \left(\frac{3\pi}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad \text{rad/s}$$



Gambar 4 Ragam getar ketiga

2.3 Komposisi Campuran dan Pembuatan Benda Uji

Untuk komposisi masing-masing campuran disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 1 Perbandingan komposisi bahan

Berat bahan (%)	Kandungan <i>filler</i> (%)		
	35	45	50
Polimer terdiri atas	65	55	50
<i>UP</i>	60	60	60
<i>MEKPO</i>	3	3	3
<i>SM</i>	40	40	40

Dari Tabel 1 di atas proporsi *UP* dan *SM* adalah 60% dan 40% dari kandungan polimer sedang *MEKPO* sebanyak 3% dari *UP*.

Untuk membentuk benda uji dilakukan dengan sistem prepak yakni mortar yang komposisinya telah disesuaikan untuk setiap campuran kemudian di *grout*, pada cetakan. Cetakan tiga buah untuk tiga macam komposisi, cetakan berukuran 49 cm x 49 cm x 7,5 cm yang telah terisi dengan agregat. Cetakan terbuat dari multiplek. Material penyusun benda uji berupa mortar yang di *grouting* kedalam cetakan berisi agregat, dan *filler*. Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian dilakukan *Core drill* dan pemotongan untuk membentuk benda uji, balok 2,4 cm x 2,4 cm x 25 cm untuk uji modulus elastisitas lentur serta silinder ukuran ϕ 5 cm dan tinggi 6,5 cm untuk pengujian modulus elastisitas, dan balok 2,4 cm x 4,0 cm x 40 cm untuk uji dinamik, masing-masing benda uji tiga buah untuk tiap komposisi. Setiap benda uji memiliki kode misalnya Poly35A berarti angka 35 menyatakan banyaknya filler, sedangkan A menyatakan sample ke-1.

2.4 Pengujian Modal Testing (Uji Modal)

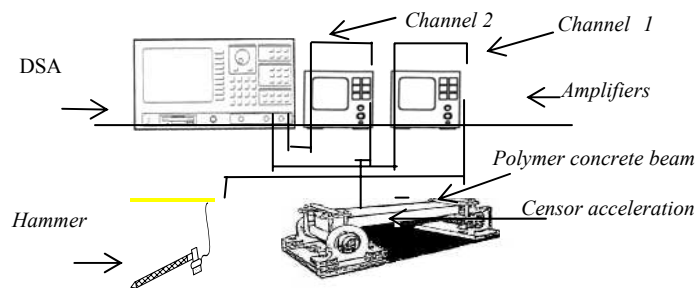
Dalam Modal Testing, gaya yang terkontrol dan terukur digunakan untuk mengeksitasi struktur, dan respon yang terjadi diukur di beberapa lokasi pada struktur untuk

menghasilkan Fungsi Respon Frekuensi (FRF). Dari analisis FRF, dapat diperoleh frekuensi natural, rasio redaman.

Peralatan yang diperlukan

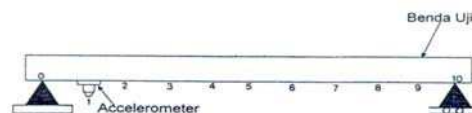
Perletakan sendi dan rol terbuat dari bahan baja terdiri dari as diameter 1,5 inci dan *bearing* yang dapat bergerak maju mundur dan berputar, serta plat baja. *Dynamic signal analysis* (DSA) HP-35665A, *measuring Amplifier Bruell Kjaer Type 2525 B&K* 2 buah, *hammer* (palu), *force Transducer (Load Cell)* Type 8200 B&K spesifikasi: nomor seri: 2071125, sensitifitas *reference*: 3,98 pc/N, *accelerator type 4395* yang dipilih karena mempunyai kelebihan: daerah frekuensi kerjanya ($\pm 10\%$) 0,3 Hz s.d 18 KHz. Spesifikasinya: nomor seri: 1929064, sensitifitas *reference*: 1,001 mV/ms⁻² atau 9,815 mV/g pada 159,2 Hz ($\omega=1000/s$), sensitifitas *transverse*: maks. 100 m/s² pada 30 Hz.

. Untuk *Set-up* peralatan dapat dilihat pada Gambar berikut:

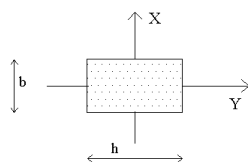


Gambar 5 *Set-up* peralatan pengujian redaman

Posisi meletakkan *transducer* dan posisi penampang saat dilakukan pengujian dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini:



Gambar 6 Titik -titik posisi *transducer*



Gambar 7 Posisi penampang

2.5 Pengujian Modulus Elastisitas Lentur

Pengujian nilai modulus elastisitas tangen beton polimer dilakukan menggunakan alat uji lentur manual yang mengacu pada standar ASTM C580-93a dengan metode *load control*.

Modulus elastisitas tangen dianalisa berdasarkan kekuatan uji lentur balok dengan bentang antar perletakan sejarak 230 ± 2 mm. Kecepatan pembebanan yang digunakan 3,53 N/dtk. Modulus elastisitas dihitung dari kurva garis tangen dengan melihat perbandingan beban inisial dengan kurva deformasi yang dihitung berdasarkan rumus:

$$E_T = \frac{L^3 M_1}{4bd^3} \dots \dots \dots (11)$$

Dimana:

E_T = modulus elastisitas tangen (MPa), L = Panjang bentang balok yang diuji (mm)

b = lebar penampang balok (mm), d = tinggi penampang balok yang diuji (mm)

M_1 = kemiringan garis initial dari kurva beban-defleksi (N/mm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dibawah ini disajikan data balok beton polimer yang diuji redamannya seperti terlihat pada tabel berikut:

Tabel 3 Data balok beton polimer

Kode	B (Cm)	H (Cm)	L (Cm)	$I_x \times 10^{-8}$ (Cm ⁴)	$I_y \times 10^{-8}$ (Cm ⁴)	W (gr)	Rho (gr/cm ³)
35A	2,433	3,933	40,233	12,335	4,720	758	1,968
35B	2,400	3,987	40,267	12,676	4,593	754	1,957
35C	2,450	4,083	40,100	13,897	5,004	801	1,997
45A	2,400	3,867	39,900	11,565	4,455	808	2,182
45B	2,550	3,900	39,900	12,605	5,389	891	2,245
45C	2,417	4,000	40,133	12,891	4,707	769	1,982
50A	2,417	3,950	40,267	12,413	4,648	873	2,271
50B	2,417	3,950	40,333	12,413	4,648	835	2,169
50C	2,400	3,983	40,267	12,637	4,588	861	2,237

Bersamaan didapatnya frekuensi alami dalam kurva respon frekuensi maka redaman masing-masing benda uji dapat dihitung, demikian pula ragam getar yang terjadi. Besarnya redaman dihitung pada setiap terjadi resonansi yang menunjukkan harga frekuensi alaminya.

Berikut disajikan harga redaman balok beton polimer yang diuji seperti pada Tabel 4.

Tabel 4 Harga redaman balok beton yang diuji

POLY	Frek. (Hz)	ΔF	Ratio Redaman ξ (%)	ω (Rad/s)	m (Kg s ² /m)	c (N.s/m)	Loss Factor η (%)	Rata- rata η (%)	Rata-rata Akhir η (%)
35A1	208,723	6,373	1,527	1311,445	0,0773	3,095	3,053	1,894	1,699
35A3	212,068	1,956	0,461	1332,463	0,0773	0,950	0,922		
35A5	210,215	3,587	0,853	1320,820	0,0773	1,743	1,707		
35B3	208,338	3,443	0,826	1309,026	0,0769	1,663	1,652	1,336	
35B7	207,836	2,393	0,576	1305,873	0,0769	1,157	1,152		
35B9	210,142	2,533	0,603	1320,364	0,0769	1,224	1,205		
35C2	206,724	5,472	1,324	1298,887	0,0817	2,809	2,647	1,866	

POLY	Frek. (Hz)	ΔF	Ratio Redaman ξ (%)	ω (Rad/s)	m (Kg s ² /m)	c (N.s/m)	Loss Factor η (%)	Rata- rata η (%)	Rata-rata Akhir η (%)
35C4	205,825	3,606	0,876	1293,233	0,0817	1,851	1,752		
35C6	205,614	2,462	0,599	1291,911	0,0817	1,264	1,198		
45A5	211,354	4,640	1,098	1327,974	0,0824	2,403	2,196	1,944	2,103
45A6	213,079	4,200	0,985	1338,814	0,0824	2,174	1,971		
45A9	213,535	3,555	0,832	1341,678	0,0824	1,841	1,665		
45B1	240,535	4,851	1,009	1511,326	0,0909	2,771	2,017	2,314	
45B2	238,336	2,540	0,533	1497,511	0,0909	1,451	1,066		
45B3	241,116	4,956	1,028	1514,976	0,0909	2,830	2,055		
45B4	236,306	5,899	1,248	1484,755	0,0909	3,369	2,496		
45B5	236,571	17,026	3,599	1486,417	0,0909	9,724	7,197		
45B6	238,284	4,321	0,907	1497,182	0,0909	2,467	1,813		
45B7	235,949	2,506	0,531	1482,512	0,0909	1,431	1,062		
45B8	238,564	5,275	1,106	1498,940	0,0909	3,013	2,211		
45B9	235,708	2,152	0,457	1481,000	0,0909	1,229	0,913		
45C2	190,880	5,023	1,316	1199,336	0,0784	2,474	2,631	2,052	
45C6	193,756	2,855	0,737	1217,403	0,0784	1,406	1,473		
50A4	170,007	3,424	1,007	1068,188	0,0890	1,915	2,014	3,146	3,017
50A7	170,912	4,687	1,371	1073,870	0,0890	2,621	2,742		
50A9	174,004	8,147	2,341	1093,301	0,0890	4,556	4,682		
50B3	225,190	2,083	0,462	1414,910	0,0851	1,114	0,925	3,410	
50B5	201,862	17,179	4,255	1268,338	0,0851	9,185	8,510		
50B7	209,143	1,661	0,397	1314,084	0,0851	0,888	0,794		
50C1	186,072	2,989	0,803	1169,126	0,0878	1,650	1,607	2,494	
50C6	185,367	4,273	1,152	1164,697	0,0878	2,357	2,305		
50C9	189,151	6,753	1,786	1188,468	0,0878	3,726	3,571		

Seperti terlihat pada tabel di atas, tampaknya hasil yang diperoleh masih dalam *range loss factor* beton normal sehingga dari komposisi campuran yang digunakan belum didapatkan hasil yang cukup memuaskan nilai redamannya untuk diterapkan dalam rehabilitasi untuk daerah rawan gempa, namun jika dilihat dari nilai di atas terlihat bahwa *filler* abu terbang cukup memberikan pengaruh bagi peningkatan nilai redaman.

Sebelum dilakukan perbandingan antara nilai yang didapat dari eksperimental dengan analitis, terlebih dahulu disajikan nilai perolehan modulus elastisitas yang didapat dengan seperti terlihat dalam tabel berikut ini:

Tabel. 5 Harga modulus elastisitas (E) hasil eksperimen

Kode	Cara Lentur	
	E (MPa)	E (N/m ²)
Poly 35A	3992,656	3992655513
Poly 35B	1453,705	1453705186
Poly 35C	3947,184	3947183955
Poly 45A	6148,444	6148443684
Poly 45B	3757,469	3757469101
Poly 45C	1530,288	1530288407
Poly 50A	863,951	863950553
Poly 50B	2269,037	2269037061
Poly 50C	505,967	505967015

Dibawah ini merupakan analisis untuk frekuensi alami berdasarkan nilai modulus elastisitas :

Tabel 6 Hasil analisis frekuensi alami dengan E cara lentur

Poly	Ragam getar I (ϕ_1)		Ragam getar II (ϕ_2)		Ragam getar III (ϕ_3)	
	ω (rad/s)	F (Hz)	ω (rad/s)	F (Hz)	ω (rad/s)	F (Hz)
35A	609,898	97,068	2439,590	388,273	5489,078	873,514
35B	363,461	57,847	1453,844	231,386	3271,148	520,619
35C	610,347	97,140	2441,386	388,559	5493,119	874,257
45A	720,961	114,745	2883,845	458,978	6488,651	1032,701
45B	590,339	93,955	2361,355	375,821	5313,048	845,598
45C	375,662	59,788	1502,647	239,154	3380,956	538,096
50A	261,941	41,689	1047,766	166,757	2357,473	375,204
50B	432,993	68,913	1731,974	275,652	3896,940	620,217
50C	200,578	31,923	802,312	127,692	1805,201	287,307

Seperti telah diutarakan sebelumnya bahwa data frekuensi alami yang diperoleh cenderung mendekati nilai frekuensi alami untuk ragam kedua seperti tabel diatas, walupun kenyataannya frekuensi alami yang diperoleh dari hasil eksperimen menunjukkan suatu nilai yang konstan, dari tabel diatas juga terlihat nilai frekuensi alami untuk ragam ketiga dan ragam kesatu sehingga dari sini diharapkan dapat membantu untuk mengetahui kondisi yang tidak terpantau. Pada tabel berikut disajikan frekuensi alami khusus dalam ragam kedua :

Tabel 7 Perbandingan frekuensi alami untuk tiap Ragam getar II

Poly	Ragam getar II (ϕ_2) E cara lentur		Ragam getar II (ϕ_2) hasil eksperimen	
	ω (rad/s)	Rata-rata (rad/s)	ω (rad/s)	Rata-rata (rad/s)
35A	2439,590	2111,600	5489,078	1307,901
35B	1453,844		3271,148	
35C	2441,386		5493,119	
45A	2883,845	2249,282	6488,651	1345,574
45B	2361,355		5313,048	
45C	1502,647		3380,956	
50A	1047,766	1194,017	2357,473	1194,998
50B	1731,974		3896,940	
50C	802,312		1805,201	

Dari hasil perbandingan di atas, terlihat pada bagian ketiga (Poly50) nilai frekuensi alami dengan modulus cara lentur memberikan hasil yang tepat sama dengan hasil eksperimen, ini beralasan mengingat bentuk pengujian lentur dengan pengujian redaman sama-sama berperilaku lentur. Sedangkan pada bagian kedua (Poly35) maupun ketiga (Poly45) yang terlihat berbeda, hal ini sulit untuk diprediksi mengingat sifat-sifat material yang tidak seragam seperti perilaku butiran dari elemen benda uji, ketidakkontinuan geometri material atau karena modulus elastisitas yang digunakan belum merupakan harga yang sebenarnya disebabkan keterbatasan jumlah benda uji.

Dari eksperimen sebelumnya^[3] diketahui beberapa hal diantaranya semakin banyak jumlah prosentase polimer dari beton polimer maka kecenderungan frekuensinya alaminya semakin kecil dan semakin besar pula *loss factor*-nya (η) selain itu diketahui

pula bahwa harga modulus elastisitas (E) suatu beton polimer kecil sehingga frekuensi alaminya kecil dan bila frekuensi alaminya kecil maka damping rasio (ξ), *loss factor* (η) serta redamannya (c) menjadi besar. Namun perlu diperhatikan bahwa dalam penelitian terdahulu^[3] *filler* yang digunakan berbeda dengan yang dipakai dalam penelitian ini seperti *filler* nikel, tailing, kaca dan bata merah.

Namun dalam penelitian ini dengan *filler* abu terbang semakin banyak prosentase polimernya maka harga *loss factor*-nya (η) serta koefisien redamannya (c) dan *damping ratio* (ξ) semakin kecil berbeda kecenderungannya dibanding penelitian terdahulu^[3], tampaknya disini abu terbang sangat berpengaruh untuk menaikkan *loss factor* (η) maupun koefisien redaman (c) dan juga *damping ratio* (ξ).

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap beton polimer prepak, dapat ditarik beberapa kesimpulan, faktor redaman yang diambil dalam penelitian ini adalah faktor kehilangan (*loss factor*, η) dimana $\eta=2\xi$. Harga faktor redaman yang mewakili adalah *loss factor* (η) pada ragam getar kedua posisi Y-Y. Harga koefisien redaman c (*viscous damping*) dikonversikan dari harga faktor kehilangan (η), dimana besarnya koefisien redaman adalah $c=\eta\omega m$ dengan ω adalah frekuensi alami benda dan m adalah massa benda. Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

1. Adapun nilai redaman yang didapat untuk beton polimer prepak ini adalah 1,669 s.d 3,017%.
2. Dalam penelitian ini ternyata *filler* yang digunakan yakni abu terbang berpengaruh untuk menaikkan *loss factor* (η) maupun koefisien redaman (c) dan juga *damping ratio* (ξ), sehingga dalam hal ini nilai guna abu terbang akan semakin bertambah yang tentunya dapat terus digunakan dalam rekayasa material khususnya beton polimer.
3. Nilai frekuensi alami dengan modulus cara lentur ada yang memberikan hasil yang tepat sama dengan hasil eksperimen, ini beralasan mengingat bentuk pengujian lentur dengan pengujian redaman sama-sama berperilaku lentur. Sehingga untuk analisis redaman menggunakan beton polimer sebaiknya digunakan modulus elastisitas dengan cara lentur.

4.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui pengaruh abu terbang dengan kandungan dari 0% sampai 30% serta diatas 50% untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruhnya terhadap aspek dinamik lainnya
2. Dalam penelitian ini digunakan *sample* yang berasal dari hasil pemotongan, sehingga perlu dilakukan pengamatan terhadap *sample* yang dibuat berdasarkan cetakan yang telah disiapkan sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Beards, C.F.: "Structural Vibration Analysis: Modelling, Analysis & Damping of Vibrating Structures", John Wiley & Son, 1983.

- Ewins, D.J.: "Modal Testing Theory and Practice", Research Study Press Ltd., England, 1986.
- Harahap, Hana T dan Herawaty N.: "Kajian Eksperimental Faktor Redaman Beton Polimer, Beton Polimer Semen dan Beton Semen", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 1999.
- Pinem V dan Ariacipta R.: "Perilaku Mekanis Balok Komposit Beton Semen dengan Beton Polimer Terhadap Beban Statis", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 1999.
- Setio, Herlien D, Modul Praktikum: "Rekayasa Gempa", Laboratorium Mekanika Teknik dan Peragaan (LMTP), Jurusan Teknik Sipil ITB Bandung, 1998.
- Seto, William W.: "Mechanical Vibrations", McGraw-Hill Book Company, New York, 1964.
- Suraatmadja, D, Nasution A, Munaf D.R, Lationo B dan Cahyani A.: "Kajian Besaran Mekanis Beton Polimer Kinerja Tinggi", Bandung, Januari 1996.
- .Vierick, Robert K.: "Analisis Getaran", Bandung, Eresco, 1995.